

XLZD実験に向けた一相式液体キセノン検出器とマイクロストリップ電極の開発



島田大輝

名古屋大学 宇宙地球環境研究所 宇宙線研究部 修士1年

文部科学省 科学研究費助成事業 学術変革領域研究(A)

極稀事象で探る宇宙物質の起源と進化
新たな宇宙物質観測のフロンティア

I. Introduction

▶ 暗黒物質

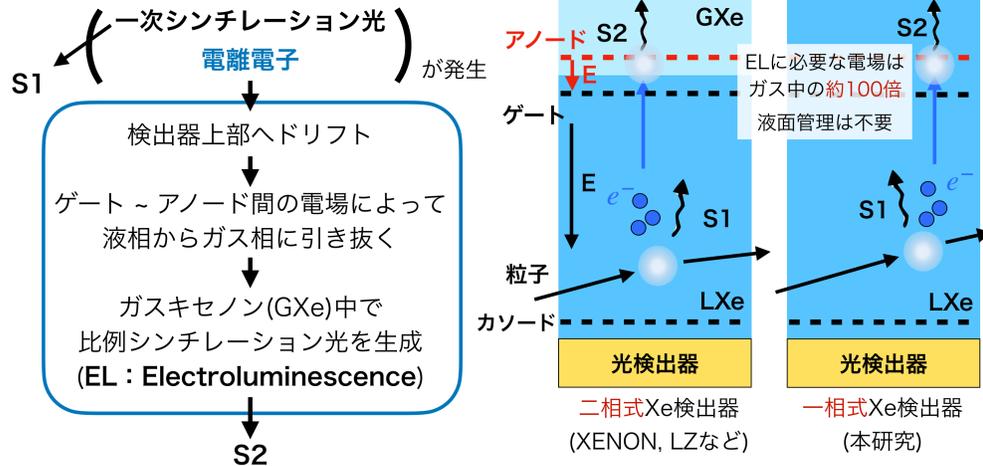
- 宇宙の全エネルギー密度の約27%を占め、光学的に観測できない物質。
- Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs) は相互作用が非常に弱く、重い質量を持つ未知の素粒子の総称。冷たい暗黒物質の有力候補。

▶ XLZD実験

XENON、LZ実験の後継機となる暗黒物質直接探索実験。WIMPsの推定質量域(10~1000GeV)に高い感度をもつ液体キセノンに60~80t 使用予定

▶ 液体キセノン検出器の暗黒物質検出原理 (従来の二相式の場合)

液体キセノン(LXe)中で暗黒物質に反跳されたXe原子核は他のXe原子を励起・電離させ、



II. マイクロストリップ電極の開発動機

▶ 大型化に伴うワイヤー電極の問題

従来のワイヤー電極では自重や電磁力によるたわみと断線の影響でショートや放電の危険がある

先行研究 (G.Martinez-Lema et al JINST 19 P02037)

- 石英への金属パターン成膜によるマイクロストリップ電極モデルを提案
- LXe中EL発生時の電場閾値 ~ 465 kV/cm



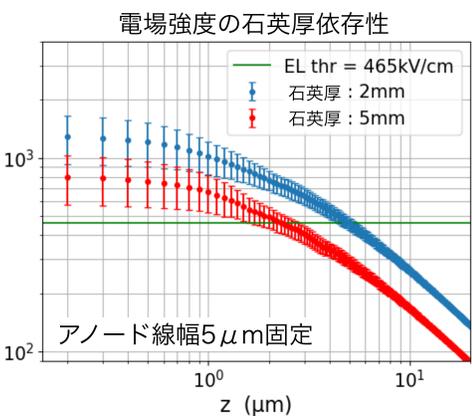
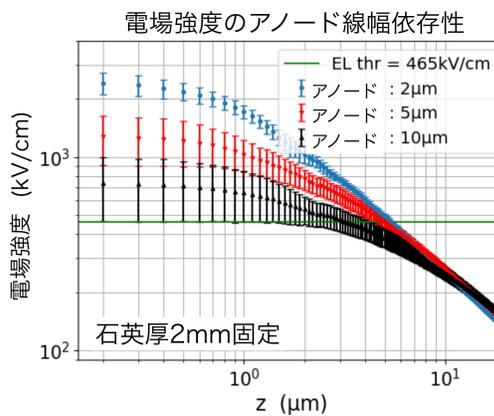
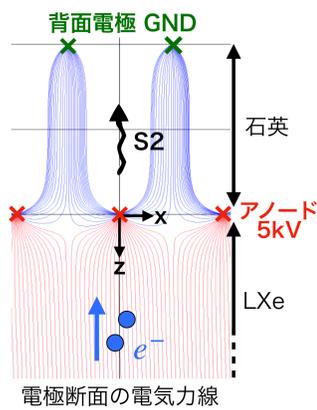
III. マイクロストリップ電極の設計

▶ マイクロストリップ電極の概要

- 先行研究とは異なるストリップパターンを採用 (G.Martinez-Lema et al. arXiv:2312.14663)
- アノード線幅が細いほど高電場を形成可能
- 背面電極からアノードへの電気力線がLXe領域に回り込むことで電場強度が向上
 - ▶ 石英厚(アノード~背面電極の距離)も重要

▶ シミュレーションによる電場最適化

z ~ 数μm以下からEL閾値(~465kV/cm)越えを確認



※エラーバーは誤差ではなく、電極面水平方向(x方向)の電場強度の標準偏差を表す

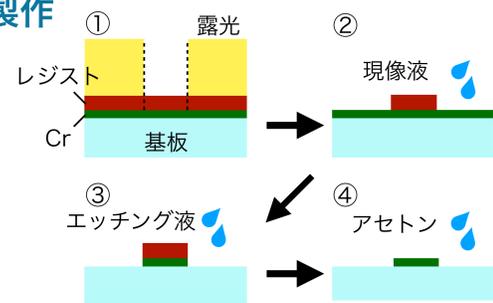
VI. まとめ

- ワイヤー電極に代わる安定した電極としてマイクロストリップ電極を開発
- LXe中でEL電場閾値(~465kV/cm)を満たす電極を設計・製作
 - ・アノードストリップ幅 $4.40 \pm 0.33 \mu\text{m}$ のパターンニングに成功
- 推定されるドリフト時間でS2信号を検出成功
アノード電圧増加に伴うS2信号強度の増加も確認

IV. マイクロストリップ電極の製作

一般的な片面パターンニングの流れ

- Crとレジストが成膜された基板へパターンに沿って露光
- 現像液で変質したレジストを除去
- 酸性のエッチング液でCrを除去
- アセトンで残ったレジストを除去



▶ 両面パターンニングのための露光方法の工夫

- 基本的に両面パターンニングでは片面パターンニングの手法を表裏に対して順に行う

課題点: 裏側への従来のマスクレス露光では、反対面のストリップの凹凸による基板表面の傾きによって露光像がぼやけてしまう

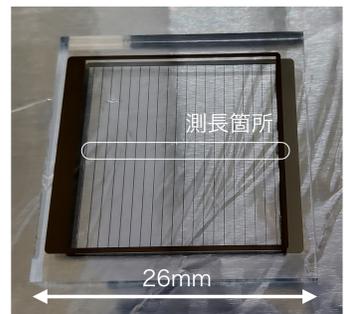
▶ 事前にマスクを作って露光する方法(マスクアライナー)で裏側を露光することで解決

	マスクレス (表側)	マスクアライナー (裏側)
光学制御	レンズによって表面で結像 → 傾きの影響大	フォトマスクによって光を遮る → 傾きの影響小
露光に必要な物	CADファイルのみ → R&D向け	事前にマスクレス露光で作ったフォトマスクが必要
露光精度	0 (0.1 μm)	マスクレスより低い

▶ 完成したマイクロストリップ電極の出来栄

- ストリップ全ラインの中央の線幅を測長 (手動のピント調整に伴う測定誤差 ± 0.1 μm)
- 線幅の出来栄を (平均μ) ± (標準偏差σ) と表記すると、今回のアノード線幅は $4.40 \pm 0.33 \mu\text{m}$ ($\sigma/\mu = 7.5\%$)

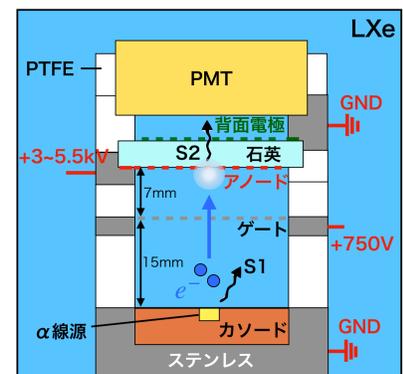
石英厚	2mm	石英サイズ	□26mm
Crコーティング厚	100nm	ストリップピッチ	1mm



V. 液体キセノンを導入したS2測定

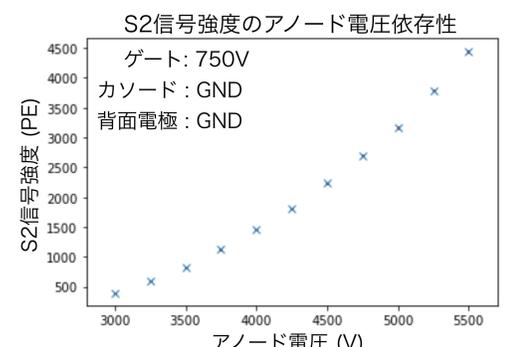
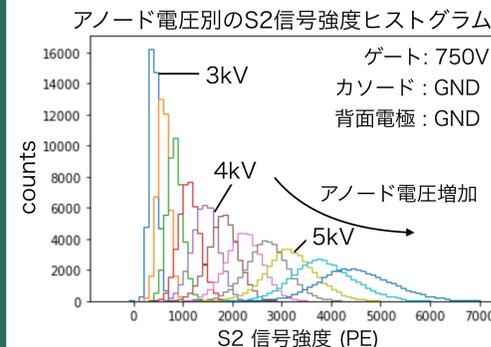
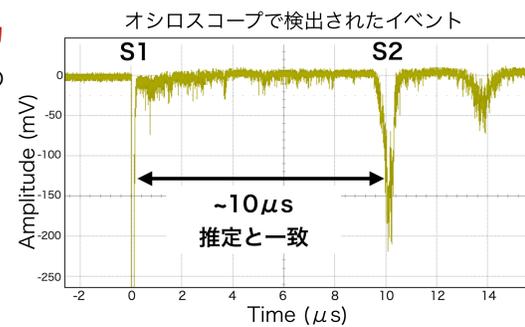
▶ 実験概要

- 検出器下部の²⁴¹Amのα線による一次シンチレーション光(S1)とEL信号(S2)をPMTで測定
- 今回の電圧条件におけるドリフト距離22mmの電子ドリフト推定時間は ~10μs
- S2信号強度のアノード電圧依存性を調査するため、電圧を変えながらデータ取得



▶ 結果(Preliminary)

- ドリフト時間~10μsでS2を検出成功
- アノード電圧増加に伴うS2信号強度の増加も確認
- 放電することなくアノード電圧5.5kVまでの印加に成功
- S2の3~4μs後にも別の信号あり
ゲート電極での光電効果と予想



現在原因を調査中だが、S2信号強度に時間変動がある(~100PE/hourほどの増加)

今後の展望

- 信号強度の電圧依存性を先行研究と比較
- S2に付随する信号、S2強度の時間依存性についての理解
- 異なるエネルギーのガンマ線による信号を測定することで S2 ゲイン(photons/electron)を評価